

[发电机]

封闭母线隐患原因分析及强风循环正压干燥装置的应用

文/陈斌
国能（福州）热电有限公司

对发电机组封闭母线存在的隐患及原因进行分析，对现有离相封闭母线的保护装置进行优劣分析。综合研究和实际运行验证表明，强风循环正压干燥装置能够很好地改善封闭母线运行环境，通过应用强风循环正压干燥装置，可显著提高封闭母线的运行可靠性，降低故障率，延长使用寿命。

封闭母线是发电机组重要的辅助电气设备，当封闭母线出现严重受潮或结露时，会引起发电机出口接地或相间短路、厂用电或启备变系统接地或相间短路。每年，全国都有多台机组出现封闭母线结露、闪络和跳机的故障情况。我厂采用微正压装置为封闭母线进行保护，随着运行年限的增加，微正压装置所过滤的空气内含有部分水和油，对封闭母线的运行安全造成影响。封闭母线密封条件和保护装置都出现了一些老化或退化迹象，升高座受潮的问题也逐渐显现出来，而且没有相应的监测参数。在电力行业不断追求高效、稳定和安全的背景下，通过深入剖析封闭母线隐患的成因，有助于制定更加科学、合理的维护和检修策略，降低母线故障率，提高电力系统的可靠性。因此，保证电气主要设备健康安全运行，处理封闭母线隐患迫在眉睫。

国内外封闭母线保护装置现状

目前国内封闭母线保护的方法主要有微正压充气装置、热风保养等手段，工作原理和形式基本相同，其目的就是往母线内部充入干燥空气或热风，防止结露，提高绝缘水平。但实际上不管采用上述哪种形式，要达到最终效果，最根本是要解决母线的密封、压缩空气气量和气体品质等综合性的

问题。

1. 微正压装置

微正压装置通过智能压力表实时监测母线内的压力变化，当母线内压力低于设定值时，装置会自动启动，通过电磁阀将经过滤、除水和干燥处理的压缩空气充入母线外壳内。随着母线内压力逐渐上升，当达到设定的高压阈值时，装置会自动关闭电磁阀，防止过压。当母线内压力异常升高至安全阈值时，安全阀会迅速动作，释放多余压力，确保母线安全。除智能的压力控制，微正压装置还具备高效的空气处理能力。采用先进的过滤和干燥技术，确保充入母线外壳内的空气清洁、干燥，从而进一步提高母线的绝缘性能和使用寿命。装置的智能化控制系统能够根据实际运行状况自动调整充气速度和压力，实现精准控制，降低能耗。微正压装置在电力系统中还可提高封闭母线的绝缘性能，减少闪络、漏氢等不正常现象的发生，降低母线维护成本，提高电力系统的整体可靠性。此外，该装置还具有安装简便、运行稳定和维护方便等优点，被广泛应用于电力系统中。

2. 热风保养装置

热风保养装置通过产生热风，对母线内部进行干燥和置换，有效防止母线内空气结露，确保母线

内部的干燥和清洁。该装置采用智能控制系统，能够根据母线内的温度和湿度自动调节风量和温度，实现精准保养。热风保养装置还具有操作简便、维护方便等优点，可提高母线运行可靠性及使用年限。

热风保养装置主要存在以下弊端：热风保养装置在运行过程中能耗较高，特别是在高温、高湿环境下，为维持母线内部的干燥状态，需要持续输出大量热风，导致电力消耗增加，对节能减排有一定影响。且热风保养装置维护成本较高，由于装置内部涉及多个零部件和电气元件，长期运行后容易出现磨损故障，需要定期进行检查更换，将会增加维护难度，提高维护成本。再者，热风保养装置在保养过程中很难做到均匀加热。因母线内部的结构复杂，热风在流通过程中存在死角，导致部分区域无法有效加热和干燥，从而影响保养效果。此外，热风保养装置对于母线内部的环境控制不够精确，虽然装置能够根据温度和湿度进行调节，但由于母线内部环境的复杂性和多变性，单纯依靠热风保养装置很难实现精确的环境控制，会导致母线内部环境波动过大，影响母线正常运行。

改造方案

我厂配备微正压装置供气量仅有 $45\sim 60\text{m}^3/\text{h}$ ，随着设备运行年限的增加，封闭母线内盘式绝缘子密封老化，运行中长期振动等因素都会造成封闭母线不严，造成保护装置不能正常充气、保压，封闭母线内部压力达不到微正压装置供气系统停运设定的上限值，导致保护装置频繁启动，相关电气元件、气动元件频繁损坏，装置不堪重负，保护装置故障频繁发生。

针对微正压装置的缺点，以及考虑封闭母线老化不严的特点，联合厂家开发一套强风循环正压干燥装置。

1. 强风循环正压干燥装置的组成

强风循环正压干燥装置包括空气除灰自洁系统、空气脱水系统、空气脱磁系统、二次加压系统、变频控制系统、管道通风系统、强风控制系统和微正压控制系统八大系统。

1) 空气除灰自洁系统。由单层滤网、移动支架、吹尘系统和吸尘系统组成。

2) 空气脱水系统。由冷冻式干燥器和排水机构组成。其中冷冻式干燥器采用压缩机冷冻脱水工艺将空气中的液态或气态水滴滤除，提高空气的干燥度。排水机构将冷冻式干燥器凝结出的液态水有效分离并排出，提高空气的干燥度。

3) 空气脱磁系统。由高丝永磁过滤磁棒及框架机构组成。其中高丝永磁过滤磁棒是将输入母线气流中的磁性物质或磁性物质核团去除，避免其侵入母线与母线运行中释放的磁场产生放电、碳化和绝缘质表面聚灰等连锁反应。框架机构将高丝永磁过滤棒的磁场屏蔽，避免强磁效应对周边电气设备产生干扰。

4) 二次加压系统。将除尘、脱水和脱磁后的干燥洁净空气重新二次加压，以一定的压力和流量充入到封闭母线内部，在母线内形成正压。利用空气的流动性、比焓性等物理性能，实施为母线除湿、防潮、除灰和降温等功能。

5) 管道通风系统。空气气源主要取自车间厂房内的自然空气或厂内压缩空气，该系统核心由进风口、通风管道、分支管道以及出风口组成，形成一个完整的空气循环路径。进风口通常配备高效过滤器，有效阻挡灰尘和杂质进入管道。通风管道则采用优质材料制作，确保气流顺畅流通，避免弯曲和堵塞。分支管道的设置则根据实际需求进行精确计算，确保新鲜空气能够均匀分配到各个区域，出风口则负责将污浊空气排出室外，保持室内空气的清新。在空气的循环往复过程中，封闭母线内部始终维持一恒定（例如 $1\,000\text{Pa}$ ）的正压值，以保持封闭母线内部匀速的空气流动，达到维护母线内部空间环境的洁净和提高绝缘的目的，也起到微正压气体气封保护的作用。该值为 $300\sim 2\,000\text{Pa}$ 区间任一值，可设定。

6) 强风控制系统。作为设备控制系统的核心，它集成了多套系统的控制功能，并配备了多个低压开关设备。这些设备与相关的控制、测量信号、保护和调节等配置相互协作，共同确保设备的稳定运行。通过精准地监测和调整，该系统可以有效降低运行过程中的风险，提高设备的使用寿命和稳定性。

7) 微正压控制系统。当强风循环系统出现异常和故障情况，可将厂内仪用压缩空气作为备用气

源向封闭母线内充气，保留以前的微正压功能。当封闭母线内压力低于300 Pa时，微正压装置自动启动，向封闭母线内部补充干燥、洁净的厂内仪用气；当封闭母线内部压力达到2 500 Pa时，微正压装置自动停止，并自动重复上述步骤。

2. 强风循环正压干燥装置的运行模式

强风循环正压干燥装置需具备全天候、任何状态下的运行模式。

在湿度较高的环境下，装置会启动强风循环模式，通过大风量、高速度的循环风，快速去除母线内部的潮气和湿气，保持母线内部的干燥。正压系统会确保母线内部始终维持正压状态，有效防止外部湿气和污染物的侵入。在温度较高或较低的环境下，装置会自动调节循环风的温度，确保母线内部温度恒定在适宜范围内，防止因温度变化导致的母线性能下降或损坏。不仅如此，强风循环正压干燥装置还具备智能控制功能，可根据母线内部的实时情况，自动调整运行模式，实现精准控制。装置还具备故障自诊断和报警功能，一旦出现故障或异常情况，会立即发出警报，提醒工作人员及时处理。

(1) 自动模式运行

母线运行期间，母线受结构、磁场和热效应的影响，产生静电除尘器功效，在环境中吸收大量的水分或灰尘（密封不严的封闭母线在这方面表现尤为突出）。这些水分和灰尘在运行中只是作为热空气的补偿水分和提高饱和含湿量而存在，影响可忽略，但对停运后的母线却产生巨大的影响。自动模式可在机组正常运行时，按照母线内空气质量的变化设定相应的参数分别依次逐级启动强风控制系统、空气除灰自洁系统、变频控制系统、二次加压系统、空气脱水系统和空气脱磁系统等相关功能，使母线内自动维持一定的流量和压力，起到气封的作用，防止外界的灰尘和水分侵入母线内，流动的风具有蒸发和制冷的作用。自动模式下，封闭母线上允许存在一定的泄漏点，符合国内大多数封闭母线的运行特点。风会将导体对流传递的热量切断，将导体产生的热量由母线的泄漏点处吹出，起到降温的作用。

(2) 手动模式运行

当母线大修、停机时，母线内会产生大量的冷凝水，使母线绝缘通常非常低，手动功能模式下空

气除灰自洁系统、空气脱水系统、空气脱磁系统、二次加压系统、变频控制系统、管道通风系统、强风控制系统和微正压控制系统全部启动，向封闭母线内部强制通风干燥。这种方式可以迅速驱除母线内的湿气和水汽，辅助提高母线的固体绝缘性能，保证机组及时开机。

(3) 微正压模式运行

该功能可在强风循环正压干燥装置损坏或异常期间，以微正压补气的方式将厂内仪用压缩空气经多级过滤、净化后形成洁净、干燥的“不饱和气体”，将“不饱和气体”送入母线，形成300~2 500 Pa的区间压力。“不饱和气体”在对母线实施气封的同时，可吸收和消纳母线内部水气、悬浮灰尘、静电离子和母线运行中产生的过多热量，恒定压力和稳定流速，防止母线内空气因温差变化产生结露、积灰、闪络和漏氢等安全隐患，使离相封闭母线建立一个安全可靠的母线保护和高效运行体系。当封闭母线内压力低于300 Pa时，微正压装置自动启动，向封闭母线内部补充干燥、洁净的厂内仪用气；当封闭母线内部压力达到2 500 Pa时，微正压装置自动停止，并自动重复上述步骤。

3. 强风循环正压干燥装置优点

(1) 空气处理量大

该装置采用强力风机和高效空气过滤系统，可在短时间内将大量潮湿、污染的空气吸入，并通过过滤、干燥等处理步骤，将其转化为干燥、清洁的空气再释放回母线内部。这种大流量的空气处理能力，可使母线内部空气快速更新，也有效避免了因空气滞留导致的潮湿、腐蚀等问题。此外，强风循环正压干燥装置还可提高工作效率，大幅缩短母线保养周期，降低维护成本，其稳定的运行性能和可靠的品质，也为电力系统的安全运行提供了有力保障。

(2) 减少母线大修次数

通过持续提供干燥、清洁的空气环境，该装置有效延长了母线的使用寿命，降低因潮湿、污染等因素导致的故障率。其高效空气处理能力，可保证母线内部空气的快速更新循环，避免了因空气滞留而引发的腐蚀、绝缘性能下降等问题。强风循环正压干燥装置可对母线内部的温度和湿度变化实时监测，一旦发现异常情况，立即发出警报，提醒工作

人员及时进行处理,对密封良好、微漏和泄漏的封闭母线都具有实用性。将封闭母线因泄漏所引发的各种隐患降低至最低点,并一直保持到机组停机或大修期,利用大修期将封闭母线的泄漏点查出并做出相应的密封即可。

(3) 快速主动建立绝缘

该装置通过强力循环风,将母线内部的潮湿空气和污染物迅速排出,可去除引发绝缘性能下降的湿气和杂质,还为母线内部创造了一个干燥、清洁环境。强风循环正压干燥装置还可借助正压优势,防止外部潮湿空气和污染物再次进入母线内部,为母线建立了一个稳定的绝缘屏障,进一步提升了其绝缘性能。可根据母线内部的实际情况,自动调节循环风的强度和频率,绝缘建立的快速性及主动性得到保证。

(4) 压力、湿度、温度同步监测功能

保护封闭母线不仅可以维护其内部空气湿度,更重要的是保持母线内部空间的纯净度。纯净的环境是确保所有绝缘性能的基础,所以采取压力作为关键的保护指标。母线内部的压力越高,外部的灰尘和潮气就越难以侵入,从而有效保障母线的内部清洁。这能显著降低各类隐患和事故的发生概率。同时,强风循环正压干燥装置能实时监测封闭母线内部的空气湿度和温度,有效防止湿度过高的空气进入母线内部,从而避免结露、闪络或跳机等问题的发生。

(5) 触摸屏集成控制和远程监控

人机界面操作集成控制,便于工作简单化。对母线内湿度及压力实时在线监测,并将数据(模拟量)远传至集控室,便于远程观察。

结论

1) 经济方面。大型发电厂的不安全事件1 h的损失在几十万至数百万不等,强风循环正压装置全年设备运行维护成本不足1万元,初期设备投入40万元,安全性、经济性及性价比均较高。

2) 社会方面。强风循环正压干燥装置的应用,通过减少母线故障率,提高电力系统的可靠性,以满足工业生产需求,还可减少母线大修次数,延长母线使用寿命,降低电力系统的维护成本,提高企业经济效益,进而推动电力行业技术进步及产业升级。**EA**

(收稿日期:2024-05-10)

参考文献

- [1] 豆占良,张立功,宋柏阳.电厂封闭母线绝缘下降的原因分析与处理措施[J].电力科学与工程,2016,32(2):37-42.
- [2] 欧昇玮.离相封闭母线微正压装置改进分析[J].中国设备工程,2019(4):69-70.
- [3] 池宇.热风保养装置存在问题的分析[J].电力安全技术,2012(12):40-42.

